

ПЕЧЬ СУШКИ ОКРАШЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Сапсалева А.В., Савин Н.П., Касаткина Е.Г.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия, sa@koe.ref.nstu.ru

Аннотация — Предложена конструкция печи сушки покрашенной цельнотянутой коробки на основе электроконтактного нагрева. Применение данного метода нагрева и разработанной конструкции модуля сушки позволяет минимизировать, объем и площадь камеры сушки и сократить энергопотребление по сравнению с существующей установкой не менее чем в 2 раза, не уменьшая ее требуемую производительность.

Ключевые слова — камера сушки, индукционный и электроконтактный нагрев.

Abstract - The design of kiln for drying painted weldless boxes based on electric-heating is offered in this paper. Application of this method of heating and the developed design of kiln for drying allows to minimize the volume and area of the drying kiln and to reduce power consumption compared to the existing installation approximately by 2 times without reducing its required performance.

Keywords - drying kiln, induction and electrical contact heating.

проходные непрерывного действия. Первые применяются на предприятиях с мелкосерийным производством.

Ниже приведена характеристика технологического процесса окрашивания и сушки изделий существующего производства:

Скорость движения конвейера: 3,37-3,55 м/мин.

Количество подвесок: 365 штук.

Окрашивание (1) в электростатической камере.

Сушка (1): Сушка первого слоя эмали в первой сушильной печи в течение 6-7 минут при температуре 180-220° С.

Окрашивание (2) в кабине электроокрашивания.

Сушка (2): Сушка второго слоя эмали во второй сушильной печи в течение 6-7 минут при температуре 180-220° С.

Сушка (3): После второй сушки изделия подаются в третью сушильную печь. Сушка эмали в течение 6-7 минут при температуре 180-220° С.

В настоящее время используются сушильные печи проходного типа, построенные с использованием косвенного индукционного нагрева.

ВВЕДЕНИЕ

Работа направлена на усовершенствование конструкции печи сушки покрашенной цельнотянутой коробки. Цель разработки минимизировать площадь и сократить энергопотребление по сравнению с существующей установкой не менее чем в 2 раза, не уменьшая ее требуемую производительность.

В последнее время при решении вопросов энергосбережения, повышения качества продукции, упрощения производственных процессов приоритет отдается электротехнологиям. В [1] отмечается, что интенсивное использование электротехнологий определяется объективными преимуществами этого направления производственных процессов, позволяющего обеспечить конкурентоспособность, как по себестоимости продукции, так и по потребительским качествам.

Но если в 80-90 годы предыдущего столетия рост производительности электротехнологических установок оправдывал соответствующее при этом увеличение потребления электроэнергии, то в настоящее время фактор стоимости электроэнергии требует переоценки к подходам проектирования энергоемких производств. К числу таких производств относятся и технологические установки процессов сушки различных материалов.

По конструкции сушильные камеры можно разделить на два основных типа: тупиковые периодического и

ВЫБОР СПОСОБА НАГРЕВА И КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ КАМЕРЫ СУШКИ

На основе проведенного анализа в рамках поставленной задачи для дальнейшей проработки были выбраны индукционный и электроконтактный методы сушки окрашенных металлических поверхностей. Как уже отмечалось ранее, в существующем технологическом процессе сушки использован косвенный индукционный нагрев. Нагревательная камера проходного типа, замкнутая в поперечном сечении. Как следствие основные элементы конвейера для перемещения окрашенных изделий расположены внутри камеры нагрева, а ее поперечное сечение существенно превышает сечение предназначенного для сушки изделия. Это приводит: 1 - к неоправданно повышенным потерям электрической энергии на нагрев внутреннего объема камеры до необходимой температуры для сушки изделий; 2 - к интенсивному выносу тепла из внутреннего объема камеры нагрева элементами транспортного конвейера; 3 - к повышенным затратам дорогостоящего материала - меди для индукционной катушки и дополнительным потерям электрической энергии в ней; 4 - к существенным затратам материалов на изготовление и теплоизоляцию камеры нагрева; 5 - к увеличению производственной площади и объема, занимаемого сушильной камерой.

Поскольку для организации непрерывного технологического процесса поточной сушки при крупносерийном производстве требуется камера проходного типа, одним из возможных вариантов устранения отмеченных недостатков является выполнение продольного разреза камеры. Продольный разрез необходим для перемещения в нем подвесок конвейера, на которых закрепляются окрашиваемые изделия. При этом практически все из указанных недостатков сглаживаются.

В основу построения камеры нагрева был предложен модульный принцип. Подбором числа модулей можно обеспечить требуемую технологию сушки для любых типов лакокрасочных покрытий, материалов и конструкций изделий соответствующих размеров. При построении камеры сушки с продольным разрезом вариант индукционного нагрева ее внутреннего объема представляется не перспективным в силу технологических и конструктивных сложностей изготовления.

Технологическая сложность обусловлена наличием продольного разреза, что не позволяет уложить витки индукционной катушки по внешнему периметру камеры сушки, что, в свою очередь, предполагает применение внешних индукторов нагрева. Для ограничения потерь магнитопроводы индукторов необходимо выполнять шихтованным, а для ограничения температуры нагрева обмотки индукторов при высоких токовых нагрузках для обеспечения требуемой температуры внутри камеры принимать меры принудительного охлаждения.

Конструктивная сложность обусловлена как сложностью самих индукторов нагрева, так и сложностью обеспечения теплоизоляции камеры сушки при внешнем расположении индукторов. Указанные недостатки модуля индукционного нагрева заставили обратиться к принципу электроконтактного нагрева. Предварительный анализ показал, что прямое использование внутренних ферро магнитных стенок модуля в качестве нагреваемых токопроводящих элементов неприемлемо. Требуемые при этом токи для нагрева и создания необходимой температуры сушки достигают нескольких кило ампер. Поэтому предложено внутренние стенки модуля выполнять из отдельных пластин, соединяемых путем сварки последовательно. Конструктивная схема внутренней части модуля, выполняющей роль нагревателя, приведена на рис.1.

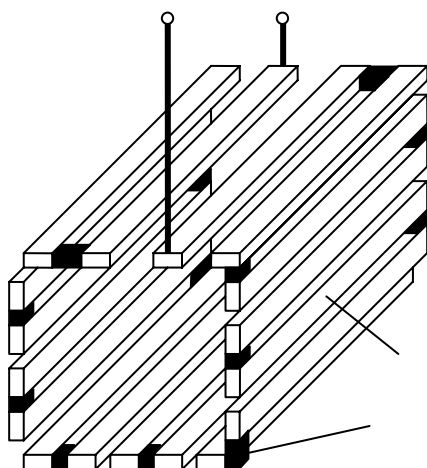


Рис.1. Внутренний нагреватель модуля сушки

Нагреватель состоит из продольных пластин 1, соединенных сваркой с поперечными пластинами 2. Мощность отдельных модулей можно регулировать при сборке камеры, применяя последовательное или параллельное соединение отдельных модулей.

Как отмечается в [1], электроконтактный способ нагрева имеет более высокие энергетические показатели по сравнению с индукционным, особенно при соотношении длины нагреваемого материала к сечению более четырех. Конструкция модуля сушки в предложенном варианте также существенно проще, проще и технология его изготовления. Легче решаются и вопросы теплоизоляции.

Ввиду явных преимуществ электроконтактного способа нагрева, именно данный вариант принят для дальнейшей проработки.

К ВЫБОРУ РАЗМЕРОВ ПЛАСТИН НАГРЕВАТЕЛЯ

При проектировании установок электроконтактного нагрева приходится решать задачи распределения температурного поля по сечению и длине нагреваемого изделия. На распределение температурного поля большое влияние оказывает выбор рода тока. Существенные преимущества имеет нагрев на переменном токе [1].

При нагреве на постоянном токе температурные перепады определяются соотношением уровня удельной мощности и интенсивностью теплоотдачи с наружной поверхности тела.

При нагреве на переменном токе кроме этих факторов дополнительно сказывается влияние размеров нагреваемых тел и их взаимное расположение. При протекании тока в нагреваемом изделии проявляется поверхностный эффект, имеющий наибольший эффект в ферромагнитных телах с большим поперечным сечением. В таких изделиях начинает проявляться вытеснение тока (изменение плотности тока по сечению) и, зависящее от этого эффекта, внутренне индуктивное сопротивление.

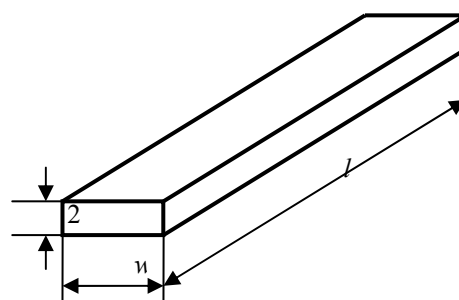


Рис. 2. Нагревательный элемент

На рис. 2. представлен эскиз одной продольной пластины нагревательной системы. Выбор размеров пластин нагревателя при допущениях: 1-ширина изделия m_n значительно превышает его толщину; 2- нагреваемое изделие однородное; 3 – род тока синусоидальный, осуществлялся по методике, изложенной в [1]. Анализ показал, что, нагрузку с удовлетворительной для

практических целей точно, можно считать чисто резистивной. А, следовательно, влиянием индуктивного сопротивления, а также потребляемой реактивной мощностью можно пренебречь.

Как при последовательном, так и при параллельном соединении нагревательных пластин модуля на распределение плотности тока J по их ширине влияет расстояние между заготовками. Рассмотрим этот эффект при последовательном соединении двух пластин, лежащих в одной плоскости, расчетная схема которых показана на рис. 3.

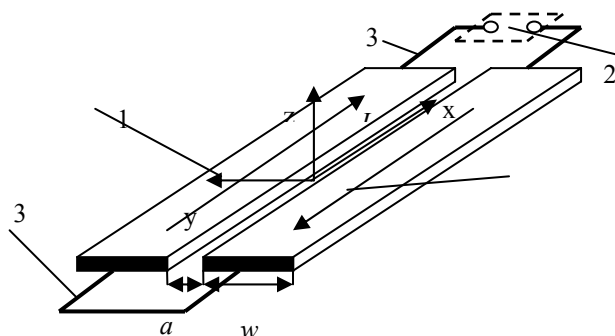


Рис. 3. Расчетная модель. 1 – плоские изделия, 2 – источник питания, 3 – токопроводы

Для данной модели распределение напряженности электрического поля на основании закона Био-Савара-Лапласа проанализировано в [1]. Зависимости относительной плотности тока в плоских изделиях от относительного расстояния a/w между ними, полученные в [1] для данной модели приведены на рис.4.

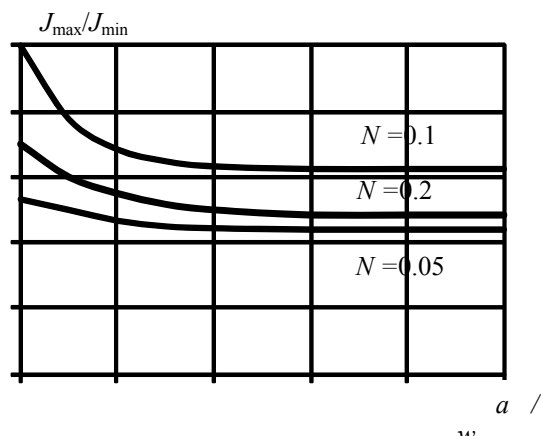


Рис. 4. Зависимость относительной плотности тока

При размещении пластин в одной плоскости на распределение плотности тока существенное влияние оказывает характеристический параметр N , который определяется выражением

$$N = 500 \cdot 2q \cdot w.$$

Как следует из графиков рис.4, приемлемая плотность распределения токов обеспечивается при $N < 0.1$ и $a/w > 1$. Следовательно, ширина изделия должна выбираться из условия

$$w < N / 500 \cdot 2q.$$

Приемлемое значение $a/w \geq 0.25$.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЯ

Исходные данные

1. Ширина пластин принята равной: $w = 0.06$ м.
2. Толщина пластин $2q = 0.003$ м.
3. Длина пластин $l = 1$ м.
4. Количество пластин $n = 20$.
5. Общая длина нагревателя модуля при последовательном соединении пластин с учетом поперечных соединений $l_{\Sigma} = 20.4$ м.
6. Активная мощность, выделяемая в нагревателе $P_{a\Sigma} = P_{Эм} = 2500$ Вт.

Расчет

1. Площадь поперечного сечения пластины $S_{наг} = w \cdot 2q = 0.06 \cdot 0.003 = 18 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$.
2. Суммарный объем модуля нагрева $V_{\Sigma} = l_{\Sigma} S_{наг} = 20.4 \cdot 18 \cdot 10^{-5} = 3.67 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.
3. Суммарная масса модуля нагрева $m_{\Sigma} = V_{\Sigma} \gamma = 3.67 \cdot 10^{-3} \cdot 7.8 \cdot 10^3 = 28.64$ кг.
4. Полное активное сопротивление нагревателя $R_{\Sigma} = \rho l_{\Sigma} / S_{наг} = 0.5 \cdot 10^{-5} \cdot 20.4 / 18 \cdot 10^{-5} = 0.567$ Ом.
5. Ток, протекающий через нагревательные пластины

$$I = \sqrt{\frac{P_{a\Sigma}}{R_{\Sigma}}} = \sqrt{\frac{2500}{0.567}} = 66.4 \text{ А}$$

6. Напряжение на зажимах нагревателя $U = R_{\Sigma} I = 0.567 \cdot 66.4 = 37.65$ В.
7. Суммарная мощность источника сушильной камеры при числе модулей в количестве 20 штук $P = 2.5 \cdot 20 = 50$ кВт.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Проведенные исследования и расчеты подтверждают эффективность электроконтактного метода нагрева камеры сушки окрашенных металлических изделий. Как показывают предварительные расчеты применение данного метода и разработанной конструкции модуля сушки, по сравнению с существующим технологическим процессом, позволяют существенно сократить потребляемую мощность, объем и площадь, занимаемую камерой сушки.

Для уточнения расчетов и их корректировки необходимы экспериментальные исследования. Для этих целей предполагается изготовление одного модуля с возможностью замены внутреннего нагревателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алиферов А.И. Электроконтактный нагрев металлов: монография / А.И. Алиферов, С. Луи - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 224 с.